

# MOBILE APPLICATIONS FOR HUMAN HEARING SENSITIVITY ASSESMENT

**Dominik Tinka**

Bachelor Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xtinka06@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Helena Škutková

E-mail: skutkova@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The aim of this work is to investigate the human hearing and related audiometric examination methods. Based on the literature research I program mobile Android application for audiometric measurement. To ensure precise measurement of the sound output, I also implemented calibration unit in the application.

**Keywords:** hearing, sound, mobile application, calibration unit

## 1 ÚVOD

Sluch je jedním z nejvýznamnějších lidských smyslů sloužící k vyhodnocení různých situací umožňující vnímat okolí. Hraje důležitou roli v lidské společnosti a je nezbytný pro rozvoj řeči. Nejvýznamnějšími metodami vyšetření jsou audiometrické metody. Jedním ze základních vyšetření je tónová audiometrie, jejímž cílem je nalezení nejmenší hodnoty intenzity, kterou je vyšetřovaná osoba schopná slyšet. [1] Technická část práce se zabývá vývojem mobilní aplikace schopné provádět měření za pomoci metody tónové audiometrie. Mobilní aplikace je realizována v podobnosti s profesionálními měřicími programy tak, aby poskytovala co nejlepší výsledky. V rámci výroby mobilních telefonů jsou však používány různé komponenty a systémová nastavení, proto není možné přesně určit, jak je nastaven zvukový výstup jednotlivých telefonů. Z toho důvodu byla konstruována kalibrační jednotka pro ověření a nastavení zvukového výstupu. Díky tomu je možné přesně nastavit výstup jakéhokoli telefonu pro poskytnutí kvalitních výsledků.

## 2 VYŠETŘENÍ SLUCHU

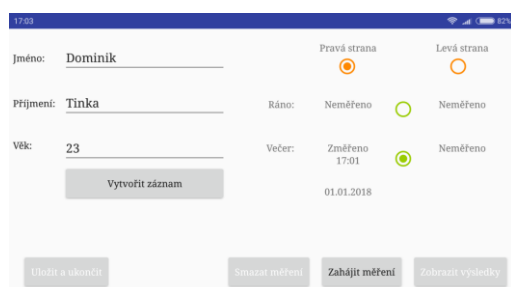
Nejdůležitější a nejpoužívanější metodou je tónová audiometrie, na jejímž principu je založena i mobilní aplikace. Ta generuje zvuk o nastavených frekvencích a intenzitách. Výsledky jsou zaznamenány do audiogramu, kde na ose  $x$  je frekvence a na ose  $y$  intenzita tónu. Výsledná křivka udává sluchový práh. [2] Při měření mobilní aplikací, by měly být dodrženy stejné postupy jako u klasického vyšetření. Měření se nicméně bude lišit samotným nastavením intenzit, neboť při klasickém audiometrickém vyšetření postačuje měření v krocích po 5 dB, nic méně tímto případě bude vyhodnocována změna citlivosti během dne, a proto je nutné měřit s co možná největším rozlišením a tedy krokem 1 dB.

## 3 MOBILNÍ APLIKACE

Program pro mobilní telefony se systémem android je naprogramován v jazyce Java a tvoří jej dvě aktivity. První aktivita zobrazená na obrázku 1, slouží k zadávání údajů a přechodu do dalších aktivit. Druhá aktivita zobrazená na obrázku 2 slouží k audiometrickému vyšetření.

V hlavní aktivitě na obrázku 1 jsou inicializovány všechny proměnné, se kterými se bude pracovat. Levá část obrazovky obsahuje editovatelná textová pole pro zadání informací o uživateli, která musí být pro spuštění měření vyplněna. V pravé části jsou informace o zaznamenaném měření a přepí-

nače pro výběr strany a doby měření. Spodní část tvoří tlačítka umožňující ukládání, editaci naměřených záznamů a přesun mezi aktivitami.



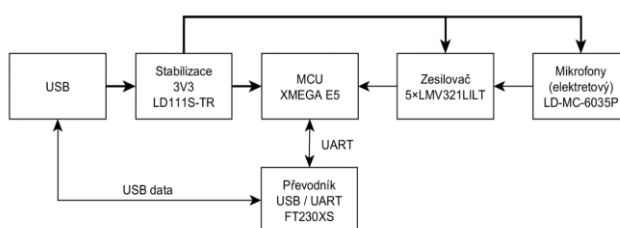
**Obrázek 1:** Obrazovka hlavní aktivity



**Obrázek 2:** Obrazovka aktivity měření

Po stisku tlačítka „Zahájit měření“ je spuštěna aktivita pro samotné audiometrické vyšetření obrázek 2. Tato aktivita je navržena v podobnosti s profesionálními měřicími programy tak, aby obsahovala veškeré prvky a informace pro zajištění kvalitního a jednoduchého měření. V horní části se nachází základní informace o měření a tabulka naměřených hodnot intenzit pro jednotlivé frekvence. Pod tabulkou se nachází graf, který je vykreslován postupně v průběhu měření a tlačítka pro volbu měřené frekvence. Poslední část tvoří spodní řada tlačítek pro nastavení intenzity zvuku a pro přehrání tónu. Měření probíhá stejně jako u klasického audiometrického vyšetření, tedy tak že je postupně hledána nejnižší slyšitelná hladina intenzity pro každou frekvenci.

#### 4 KALIBRAČNÍ JEDNOTKA



**Obrázek 3:** Blokové schéma kalibrační jednotky

Kvůli použitým součástkám a nastavení mobilních telefonů při vývoji a výrobě je nutné ověřit nastavení zvukového výstupu, neboť již malá odchylka při 50 dB způsobí chybu, která stejně jako změna intenzity roste exponenciálně. Z toho důvodu byla v rámci práce realizována kalibrační jednotka, která zajistí správné nastavení výstupu.

Napájení celého zařízení je zajištěno 5 V z USB, které je pomocí pevného stabilizátoru LD111S-TR stabilizováno na 3,3 V. Pomocí USB sběrnice je také zprostředkován datový vstup/výstup. Datové piny z USB však nemůžou být přivedeny přímo k MCU kvůli rozdílnému napětí a absenci USB datové sběrnice, kterou MCU nedisponuje, proto je komunikace zprostředkována převodníkem USB/UART.

Celá deska kalibrační jednotky je řízena pomocí MCU. Jedná se o MCU XMEGA řady E5. Taktovací frekvence je dána interním rezonátorem na 32 MHz. Jako referenční napětí pro A/D převodníky je využito napájecí napětí 3,3V. Na jednotlivé piny převodníku jsou pak přiváděny signály z jednotlivých stupňů zesilovače.

Každý vstup zesilovačů, které jsou v invertujícím zapojení, je opatřen kondenzátorem, který propouští pouze střídavou složku. Zesílení každého zesilovače je dáno poměrem jejich dvou odporů. Velikost zesílení jednotlivých stupňů v pořadí od výstupu mikrofону je 1×, 10×, 10×, 10×, 10× přičemž celý signál je posunut na polovinu napájecího napětí přes referenci zaváděnou na neinverující vstup. Výstup každého zesilovače je pak přiváděn na vstup A/D převodníku MCU pro převod do digitální formy a následné zpracování.

## 5 NASTAVENÍ ZVUKOVÉHO VÝSTUPU

Pro správné nastavení zvukového výstupu je nutné provést nastavení systémové hlasitosti, hlasitosti aplikace a velikosti generované amplitudy. Jelikož je změna akustického tlaku  $y$  na intenzitě zvuku  $x$  je závislá exponenciálně  $y=(2 \cdot 10^{-5}) \cdot e^{0,11513 \cdot x}$ , je nutné dosáhnout požadovaného zvukového výstupu regulací hlasitosti a velikostí amplitudy generovaného signálu. Úpravou výše uvedené rovnice dostáváme rovnici (1) pro výpočet velikosti generované amplitudy  $U$  v závislosti na intenzitě  $I$ . Hodnota koeficientu  $z$  odpovídá hodnotě  $(2 \cdot 10^{-5})$ . Velikost amplitudy  $U$ ,  $U_a$  a  $U_s$  je bezrozměrné číslo dané jednotlivými kvantovacími hladinami 16-Bit převodníku.

$$U = z \cdot e^{0,11513 \cdot I} \quad (1)$$

Při hodnotách kolem hranice 0 dB je však velikost amplitudy  $U$  rovna přibližně velikosti jedné hladiny a proto je nutné snížení hlasitosti aplikace  $p_a$ . Snížením hlasitosti aplikace  $p_a \in \langle 0, I \rangle$  se tedy zvýší amplituda  $U_a$  se zachováním stejné intenzity. Závislost nastavení hlasitosti byla změřena experimentálně, a je popsána rovnicí (2). Hodnota koeficientu  $z_1$  je stanovena na hodnotu 2414.

$$U_a = z_1 \cdot p_a^{-1} \quad (2)$$

Kromě výše uvedeného postupu je zapotřebí pro dosažení co nejnižších hodnot intenzit a požadavku na minimální amplitudu signálu doladit i hlasitost celého mobilního zařízení, experimentálně byla opět měřena velikost signálu v závislosti na nastavené hlasitosti. Výsledkem je rovnice (3), která popisuje vztah mezi velikostí amplitudy  $U_s$  a nastavením systémové hlasitosti zařízení  $p_s \in \langle 0, I \rangle$ . Hodnota koeficientu  $z_2$  je stanovena na hodnotu 326592.

$$U_s = z_2 \cdot e^{-5 \cdot p_s} \quad (3)$$

Všechna nastavení jsou počítána k referenčním hodnotám velikosti signálu, neboť hodnoty se pro každou frekvenci liší. Výsledné nastavení výstupu je dáno tak, že je v závislosti na nastavené intenzitě vypočítána velikost amplitudy podle rovnice (1). V případě, že je velikost amplitudy  $U$  menší, jak 1000 je podle rovnice (2) snižována hlasitost  $p_a$  a počítána velikost amplitudy  $U_a$  po změně hlasitosti aplikace. Pokud je amplituda  $U_a$  stále menší jak 1000, je dále snižována podle rovnice (3) i systémová hlasitost  $p_s$  a počítána velikost amplitudy  $U_s$  po změně systémové hlasitosti. V rámci testování byly definovány hodnoty přibližně 10% hlasitosti a 850 hladin, jako nejmenší hodnoty, kdy při jejich překročení dochází k vypnutí zvukového výstupu.

Jeden z dalších bodů, které bylo nutné vyřešit, byl výběr správných sluchátek. Při použití sluchátek se ukázalo, že u sluchátek s impedancí 32 ohmů, není možné dosáhnout kvůli nízké citlivosti hodnot pod hranicí 10 dB. Jedním z řešení je zvýšení impedance zařazením odporu do série s reproduktory. Pro tyto účely tedy byla vyrobena jednoduchá přechodka, do které byly zařazeny odpory o velikosti 220 ohmů, čímž velikost impedance vzrostla na přibližně 250 ohmů. Výsledkem navýšení impedance je zvýšení citlivosti, která posune práh generovaných intenzit pod hranici 0 dB.

## 6 ZÁVĚR

V rámci zadání byla realizována mobilní aplikace schopná provádět audiometrické vyšetření. Výsledná aplikace byla testována oproti přesnému lékařskému audiometru při standartním testu s krokem 5 dB. Při které se v rámci aplikace liší výsledky o maximálně 2 kroky (10 dB) při měření v oblasti kolem hranice 0 dB, což je chyba způsobená lidským faktorem, manuálním způsobem kalibrace, hlukem okolí a měřením v domácích podmínkách. Dalším postupem bude zlepšení kalibrace pro dosažení přesnějších výsledků, doplnění o ukládání, export dat a jednoduché vyhodnocení. Po doladění bude následovat měření na kontrolní skupině.

## REFERENCE

- [1] NOVÁK, Alexej. Audiologie: vyšetřovací technika, diagnostika, léčba a rehabilitace. Praha: Alexej Novák, 2003. ISBN 80-239-1986-5.
- [2] DRŠATA, Jakub a Radan HAVLÍK, CHROBOK, Viktor, ed. Foniatrie - sluch. Havlíčkův Brod: Tobiáš, 2015. Medicína hlavy a krku. ISBN 978-80-7311-159-5.